

# 第 1 章 0 度是什么<sup>\*</sup>

温度是什么？每天早起，收听天气预报：“今天最低气温  $-5^{\circ}\text{C}$ ，最高气温  $10^{\circ}\text{C}$ 。”这是什么意思？“明天最低气温  $0^{\circ}\text{C}$ ，最高气温  $12^{\circ}\text{C}$ 。”这又意味着什么？从这些数值中，又怎么得出我们出门是不是该穿秋裤呢？

我们将以“0 度”作为“温度之旅”的开端。或许，读者会觉得对这个问题的答案已经了如指掌，但我仍然有信心，通过讲述这样一个简单易懂甚至已经“过时”和“陈旧”的概念，使你获得不一样的思考视角，让你和我一样，不再只关注知识本身，而是从中发掘出新的科学思考能力。

通常所说的“0 度”，就是 0 摄氏度 ( $0^{\circ}\text{C}$ )。当我们听到天气预报中，气温达到了“0 度”，脑海里浮现出的就是冰冻、下雪和寒冷。1742 年，瑞典科学家安德斯·摄氏 (Anders Celsius) 首次提出利用冰的融点 / 凝固点不变的特性，将冰的融点作为温度计的标准温度之一。当时，他将冰的融点定义为 100 度，后来为了方便使用，在施勒默尔的建议下，冰的融点被定义为 0 度。

在当前的物理教科书中，仍然会给出  $0^{\circ}\text{C}$  的一般定义，通常会这样描述：“1 标准大气压下，纯净的冰水混合物的温度为  $0^{\circ}\text{C}$ 。”这一定义中涉及了三个限定条件——

---

\* 本书 0 度指的是  $0^{\circ}\text{C}$ 。

“1 标准大气压”“纯净的”和“冰水混合物”。

这三个限定条件似乎很容易理解，但如果仔细思考，每个又都不是那样显而易见。因为过多的限定条件难以同时满足，所以，这一定义已经不再被科学家们采用，现在物理教学中仍然使用只是为了讲解方便。

## 不容易懂的温度，容易懂的大气压

要想理解温度的概念，就必须知道什么是压强。压强与温度是关系紧密的物理量。要定义温度，首先需要定义压强，这并不是跑题，而是任何学科建立都要经历的过程。速成并不可能，概念之间相互影响，要真正理解一个概念，通常必须理解另一个概念，而另一个概念又会引出更多的其他概念，只有全部概念都完成定义，整个学科体系才会建立。先从简单入手，定义容易的概念，是每个学科发展的必经过程。

上面已经提到， $0^{\circ}\text{C}$ 定义的前提条件之一是“1 标准大气压下”。那么大气压是什么呢？大气压，顾名思义就是大气产生的压强，当我们被大气紧密包裹的时候，也被大气压所影响着。在工程上压强通常称为压力，尽管它并不是一个力的单位。

大气压听起来似乎比温度更难理解，从大气压的发现历史来看，也的确是那样。从动物、植物到微生物，不论是低等生物还是人类，可以说，每个生物从诞生开始就都必须理解温度的概念。自然界的复杂进化过程让在地面生存的生物不得不认识太阳代表温暖，黑夜代表寒冷，春、夏、秋、冬是季节的变化，更是温度的变化。海洋深处的生物几乎没有视觉，却能感受到海底温泉的温度。而即使是最具智慧的人类，对大气压的理解也只有几百年的历史，直到 1640 年埃万杰利斯塔·托里拆利才通过水银气压计测量出大气压。

早期，尽管人们已经懂得使用抽水机将煤矿中的水抽到地面，但使用者并不知道是大气压将水送达地面的。虽然使用亚里士多德的“自然界害怕真空”理论，解释众多与气体压强有关的物理现象，既通俗易懂又有效，但很不幸是错误的。当水泵的抽水高度超过 10m 时，真空就已经无法被“消灭”。当亚里士多德的理论已经超出它能解释的问题边界时，就必须采用新的理论。



▲ 从表面上看，压力比温度更难以理解，但事实上，压力的概念很容易定义

尽管气压的概念看上去不容易理解和掌握，但气压却很容易直接测量。大气压就是大气对单位面积的作用力。只要掌握测量力的方法，就掌握了气压的测量方法，而力是最容易测量的物理量之一。

大气压受季节、海拔、气候、空气密度、空气湿度等诸多因素的影响，且不断发生变化。最初的一个标准大气压是这样规定的：把温度为 $0^{\circ}\text{C}$ 、纬度在 $45^{\circ}$ 海平面上的气压称为1个大气压，相当于 $101325\text{Pa}$ （760毫米汞柱）。但这一定义并不科学，如果定义标准大气压需要使用 $0^{\circ}\text{C}$ ，而定义 $0^{\circ}\text{C}$ 需要使用标准大气压，那将陷入无意义的循环定义。下鸡蛋的动物是鸡；鸡下的蛋称为鸡蛋。这里说的“ $0^{\circ}\text{C}$ ，纬度 $45^{\circ}$ ，海平面”并无实际意义。也不会有人到这个环境重新进行标准大气压的测量，而且在这样的环境下所测量出的大气压力并不是一个恒定不变的量。与其说是某某纬度某某海拔下的大气压力是1标准大气压，倒不如说只是一种纪念托里拆利首次测量大气压实验的情怀，将其称为“1托里拆利”可能更贴切。而“1托里拆利”应该等于101325帕斯卡。

用人名的简称作为单位是物理学的惯例，托里拆利同时代与压强联系更为紧密的另一个人——帕斯卡，就幸运得多，压强的基本单位就是以这位法国著名的数学家、科学家和文学家的名字命名的。尽管英年早逝，但他在压强领域仍做出了卓越贡献。他是第一个从数学上证明密闭液体任意一点的压强变化都会传递到其他位

置的人。帕斯卡的发现是现代水压机设计的基础，为压强的测量提供了基本的理论依据。

## 可以被忽略的压力

大气压力的变化会对绝大多数物质的熔点产生影响，但这一影响相当微弱。大多数物质随着压力升高，熔点会随之升高。只有少数物质如水、铋、镓、锗等，压力升高，熔点降低。一般每增加 1 标准大气压，冰的熔点大约降低  $0.0075^{\circ}\text{C}$ 。如此小的温度波动，使用摄尔修斯的温度计根本无法测量出来。

实际上，由于大多数物质在压力变化时熔点只发生微弱的变化，因此在实际应用中不必精确控制压力，就能利用熔点 / 凝固点不变的特性，得到恒定的温度，使用方便。在当前采用的 1990 国际实用温度标准 (ITS-90) 中，将镓 (Ga)、铟 (In)、锡 (Sn)、锌 (Zn)、铝 (Al)、银 (Ag)、金 (Au)、铜 (Cu) 的熔点 / 凝固点作为温度标准。(为提高温标精度，水的融点已经被三相点所取代，而水的沸点由于难以准确获取，已经不再使用。)

从表 1.1 中可以看到，大多数物质凝固点随压力的变化都很微弱，压力变化 1 标准大气压 (约为  $0.1\text{MPa}$ )，凝固点实际只会变化千分之几。这样微小的变化似乎可以忽略不计，但实际上，这一微小的变化不仅影响着我们的生活，还会影响整个地球的地貌。

表 1.1 ITS-90 中部分物质的熔点 / 凝固点

物质	温度 / $^{\circ}\text{C}$	熔点随压力变化 / ( $^{\circ}\text{C} / \text{MPa}$ )	状态
镓	29.7646	-0.02	熔点
铟	156.5985	0.049	凝固点
锡	231.928	0.033	凝固点
锌	419.527	0.043	凝固点
铝	660.323	0.07	凝固点
银	961.78	0.06	凝固点
金	1064.18	0.061	凝固点
铜	1084.62	0.033	凝固点

一直以来，人们就知道冰雪的摩擦阻力很小，滑冰、滑雪、雪橇等一直是受人们喜爱的冬季运动。冰雪运动是速度与技巧的完美结合，想要在冰雪中高速滑行就必须想办法降低滑行过程中的摩擦阻力。冰雪运动的实践让人们发现，冰雪融化所产生的水膜是降低摩擦力的主要原因。与其说运动员在滑冰，不如说是在“冲浪”。融化形成的水膜使雪橇、冰刀等悬浮在水膜之上，避免了固体之间的直接接触。这里的水膜就像轴承接触点之间的润滑油。

冰刀是应用这一原理的典型案例。滑冰运动采用的冰刀刀刃非常薄，特别是速度滑冰选手使用的刀刃更薄。锋利的刀刃可显著提高冰刀接触面的压强，瞬间的高压使冰的熔点降低，冰刀与冰面的接触位置更容易熔化，大大降低冰面的摩擦力。在冰壶比赛中，运动员会拿着一个像拖把一样的工具使劲摩擦冰面，让冰面升温融化，以降低摩擦阻力，提高冰壶的运行速度。



▲ 滑雪板的压力会使冰雪融化，产生的水膜起到润滑作用，使运动员高速滑行。冰面水膜的成因，与晶体表面结构相关，这一问题的研究十分复杂，尚无明确结论

冰川应该算作地球上最为巨大的“滑行者”。冰川滑行过程中所留下的冰川地貌作为高海拔地区的常见地貌，一直影响着我们的世界。在高海拔地区，由于积雪厚度不断增加，所以积雪在压力下逐渐形成冰，这就是冰川。虽然从表面上看冰川很

安静，但冰川底部却“暗流涌动”。厚厚的冰雪在底部产生巨大的压力，会降低冰川底部冰雪的熔点。当冰雪底部熔点低于环境温度时，就会融化。在重力作用下，巨大的冰山像踩着雪橇一样，向下移动，冰就像流水一样在从高向低“流动”，因此得名冰川。在冰川不断的、缓慢的作用下，就会形成冰川侵蚀地貌。冰川侵蚀地貌是地球地貌的重要组成部分之一，大多都是美丽的旅游胜地。

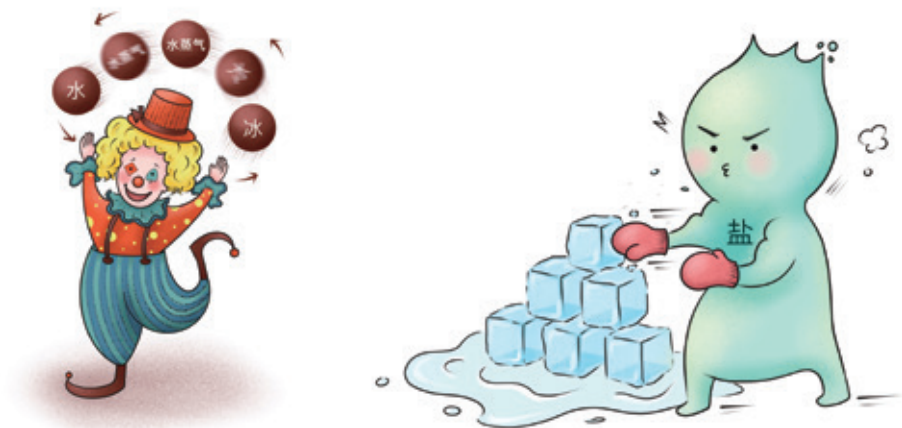
## 为什么需要纯净水

人们早就发现，水中溶解盐分后，凝固温度会下降。在自然界中，海水不像淡水那样容易结冰。通过在积雪的路面上撒盐可以达到让积雪融化的目的。

解释盐度降低凝固温度的现象在逻辑上稍微有些复杂，这一现象称为依数性。一般认为水溶液是混合物，并非纯净物，其凝固温度变化并不能用纯净物凝固的理论解释。当溶解发生后，液体沸腾温度升高，同时凝固温度降低。从蒸汽压力平衡的角度来看，当温度高于某一温度时，溶液中的水和冰就会加速蒸发到空气中；而当温度低于某一温度时，空气中的水蒸气就会直接凝结为冰或水。水蒸发为水蒸气的过程会吸收热量，加速结冰；而水蒸气凝结为水的过程会放出热量，加速溶液中冰的融化。在溶液的冰—水—水蒸气的复杂循环中，存在一个温度平衡点，在这一点，水蒸气的蒸发与凝结达到平衡，而水中盐分浓度的变化会打破这一平衡。当盐分增加时，水难以蒸发，也就是空气中的水蒸气会更多地转化为水，而水蒸气转化为水以后放热，会加速冰的融化，同时冰也会加速转化为水蒸气以补充空气中缺失的水蒸气。经过这样一个听起来绕圈圈的过程后，溶液中的水逐渐增加，而冰逐渐减少。当这一过程再次达到平衡时，即水溶液的凝固温度。因此，尽管盐不会凝结，但盐分增加会降低水的凝固点。

盐分降低溶液凝固温度还存在另一种微观上的解释，这个解释涉及复杂的化学键、熵变等概念，理解上较为困难。作为这一问题不太严谨的通俗解释，认为水中的盐离子会破坏冰晶体的牢固性，浓度越高，破坏性也就越高。盐水在凝结过程中会析出盐分，析出盐分的过程需要消耗更多的能量。在这些理论支撑下，如果已知分子键能量、分子量等，可以通过统计力学计算出不同盐分浓度时水的凝固点，但

计算过程显然极其复杂，也很难确保计算结果与实验测量完全一致。



▲ 盐分降低水的凝固温度存在两种不同的解释：宏观解释关注于盐分导致水的融点和沸点变化；微观解释关注于盐分子对水晶体结构的破坏作用。两种解释的差异是看问题的角度不同所造成的

上述两种解释代表了宏观热力学与统计热力学对同一现象的不同解释视角。宏观热力学更倾向于利用已经观察到的如溶解、汽化、吸热、放热等基本宏观物理规律解释更为复杂的物理现象。这些宏观物理规律大多来源于观察，缺乏对物理规律深层次原因的解釋。但单纯对现象进行描述，不进行解释，只是素材堆积，并不是严格意义的科学，科学总倾向于对现象进行解释。

同样是解释“苹果为什么会落地”，达尔文主义者会解释为：不落地的苹果无法繁殖后代，会被自然所淘汰，因此成熟的苹果种子必须落地。这种解释存在逻辑缺陷，并不是所有植物都需要靠种子成熟后落地繁殖后代，果实被其他动物吞食后排泄也是重要的繁殖手段。达尔文式解释常常会变成对“适者生存”原则的同义语反复，“只有能适应环境的生物才能生存，苹果存在，所以苹果的所有特点都适应环境”。逃脱这种同义语反复的可能路径是去微观寻找答案，找到诱导苹果成熟的激素，寻找这些激素的作用机理和分泌这些激素的基因依据。但这种研究路径真的会成功吗？

牛顿主义者将苹果落地解释为：因为万有引力存在，所以苹果才会落地，牛顿因

此建立了现代力学体系。但牛顿的解释并没有逃脱同义语反复，牛顿并没有试图解释万有引力产生的原因，这也是牛顿能够获得成功的原因。现代科学至今也没能完成回答万有引力成因的工作，或许这一工作永远也无法完成，牛顿没有将精力浪费在无法完成的解释工作中。



▲ 对同样的自然现象，采用不同的视角，所得出的解释完全不同。纯为解释而解释并不会产生新的知识

而如果无法解释万有引力的成因，那么牛顿对苹果落地的解释就会庸俗为：由于苹果受到的合力不为零时会改变运动状态，因此苹果改变运动状态必然是因为它所受的合力不为零。哦，你说你没有看到苹果受到什么力？它一定受力了，苹果落地就是苹果受力的直接证据。因为苹果会落地，所以它受到万有引力的作用；因为苹果受到万有引力的作用，所以它会落地。与其说牛顿发现了万有引力，不如说牛顿给出了量化研究引力问题的方法。

找到“引力子”，从更基础维度对引力成因进行解释，似乎是跳出同义语反复的好办法。但“引力子”至今仍未找到，即使找到，是否还会掉入另一个同义语反复的圈套中，也是未知的。

正如寻找“引力子”，到更微观维度进行解释，是科学研究试图跳出同义语反复

的通用方式。解释汽化过程与吸热之间的联系，凝结过程为何一定会放热，这些问题远比想象的要复杂，要想找到比这些基本规律更为基础的规律，就不得不借助于微观的统计热力学理论。统计热力学的本质就是还原主义，将物质看作由很多细微结构组成的整体，细微结构遵循基本的力学规律，通过对力学规律的计算，就可以推导出宏观所表现出的物理学规律。液体凝固过程可以解释为分子被排列为高度有序的晶体结构的过程。当分子被固定在理想晶体位置后，可以处于相对低的能量状态。

使用还原论显而易见的好处在于虽然人类所观察的科学现象越来越多，但用来解决科学现象的理论却可以越来越少，几个基本物理方程就能解释和预测所有现象。还原论的解释看上去更为基础，但依赖大量的假设。假设的正确性直接影响对现象解释的精确性。用还原论解释固体物理远比想象得复杂，即使仅仅解释晶体内最简单的能量传递问题都极为复杂。解释晶体的导热、导电、声音传递、对光的反射和折射等，需要借助“声子”，而声子完全是为了解释这些现象人为创造出的量子化概念，并不像原子或者电子那样是真实存在的。很多时候，假设还会因为解释效果欠佳而在一些场合不能使用，例如能量均分定理无法解释黑体辐射和低温状态。在实际应用中会经常发现，还原主义并不总是正确。用还原主义预测物质性质更像是一种设计复杂的“占星术”，足以解释现在已经发生的大多数现象。一旦发现预测结果错误，就将原因归结为某些未能观测到的因素干扰了正确的预测。

在这里，请不要误解为作者将统计热力学等同于占星术，是在否定统计热力学，或将占星术等同于科学。是否具有科学性，最重要的判据并不是正确性，而是给出清晰的逻辑联系。或许天气预报并不准确，但预报技术的逻辑是清晰的。如果某人声称将要发生地震，而恰好地震发生了，并不能因此就相信他具有预测地震的能力，因为他没有给出让人信服的预测逻辑。占星术或许能够准确预测，但用天人感应一类的解释无助于让人在逻辑上相信。尽管魏格纳的大陆漂移学说最终证明是正确的，但由于在他所处的时代无法给出大陆漂移的动力源，逻辑上不够清晰，所以不能被归结为科学。

## 不纯净的纯净水

既然盐度对水的凝固点会产生巨大影响，那么在标定 0℃ 时最好使用纯净水。但真的有纯净水存在么？自然界中是否存在纯净物，这既是科学概念，又是工程技术概念。

在科学中，为了分析问题方便，常常认为纯净物在理想状态是存在的，如果没有这种将问题简化的方法，化学方程式简直无法书写。想想看，如果你看到这样一个方程会是什么感觉？

$2\text{H}_2$  (其中主要成分为  $\text{H}_2$ ，同时含有少量的  $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}_2$  以及若干不明成分的杂质) +  $\text{O}_2$  (其中主要成分为  $\text{O}_2$ ，同时含有少量的  $\text{Ar}$ 、 $\text{N}_2$  以及若干不明成分的杂质) =  $2\text{H}_2\text{O} + \text{X}$  (X 代表不明反应物中所含的杂质，可能含有少量的  $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{Ar}$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$  以及若干不明成分的杂质)

在科学上，如果研究问题都这样“精确”表达，将无法解决任何问题。因此，为研究问题方便，只关注理想的纯净物，只有当杂质存在会对结果产生显著影响时，才予以考虑。从工程技术角度来看，理论上随着技术的进步，可以将物质的纯度逐步提高，但同时带来的是成本成几何级数的提升。以水的提纯为例，自来水、饮用蒸馏水、医用蒸馏水的纯度差异决定了价格的差异。物质纯度的提高必然以金钱为代价。但以当前人类掌握的技术水平，不可能制造出一瓶真正意义上的纯净水，也没有能够测试真正纯净水的仪器。那么，对于不存在的纯净水，如何测量纯水的凝固点呢？

先来做这样一个题目。

在 1kg 左右的大豆种子里，不小心混入了 10 粒绿豆种子，根本无法把绿豆种子完全挑出来，可是较真的我就想知道这些大豆种子到底有多重？因此我是这样做的。

第一步，把混有 10 粒绿豆的种子放到精密的天平中称重，测得重量为 1.000010kg。

第二步，努力从这堆种子中挑出 1 粒绿豆种子，把还混有 9 粒绿豆的种子再放到天平中称重，测得重量 1.000009kg。